

И. Н. Кириллова^{*}, Р. М. Шамсутдинов, С. Л. Демаков

Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина,
г. Екатеринбург

^{*}*kirillovairine@mail.ru*

ФАЗОВЫЙ СОСТАВ СПЛАВА Co–10Al–9W

В работе приведены результаты теоретического расчета фазовой диаграммы тройной системы Co–Al–W с использованием программного обеспечения Thermo-Calc Software, а также металлографических и рентгеновских исследований образцов сплава Co–10Al–9W после различных режимов обработки.

Ключевые слова: кобальтовые сплавы, микроструктура, фазовая диаграмма.

I. N. Kirillova, R. M. Shamsutdinov, S. L. Demakov

PHASE COMPOSITION OF THE Co–10Al–9W ALLOY

The calculation phase diagram of the Co–Al–W system was carried out by the Thermo-Calc Software. Metallographic and X-ray investigations of the Co–10Al–9W alloy samples after different thermomechanical treatments are performed.

Keywords: cobalt alloys, microstructure, phase diagram.

Сплавы системы Co–Al–W рассматриваются как перспективные жаропрочные материалы, прочностные свойства которых не уступают никелевым сплавам. Жаропрочность кобальтовых сплавов системы Co–Al–W обусловлена выделением плотноупакованной γ' -фазы, диапазон температур существования которой не определен, поскольку существующие изотермические разрезы диаграммы состояния относятся в основном к высокотемпературной области (выше 900 °C) [1–4]. Данные о фазовом составе при низких температурах противоречивы, отсутствует информация о влиянии термомеханической обработки на процессы фазовых превращений. Целью исследования было изучение влияния термической и термомеханической обработки на фазовый состав сплава системы Co–Al–W в низкотемпературной области.

Материалом послужил фрагмент слитка, полученный вытягиванием из расплава. Химический состав сплава: 81 ат.%Co–10 ат.%Al–9 ат.%W. Режимы обработки образцов приведены в табл. 1. Исследование фазового состава образцов проводилось методом растровой электронной микроскопии, рентгеноструктурного фазового анализа и путем проведения

термодинамического расчета с использованием программного обеспечения Thermo-Calc Software.

Таблица 1

Режимы обработки исследуемых образцов

Номер образца	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Температура закалки, °C	1050										
Холодная деформация (осадка 10 %) (ХД)	–	–	–	–	–	–	–	+	+	+	+
Низкотемпературный отжиг (НТ), °C	650	–	–	–	650	650	650	650	650	650	650
Высокотемпературный отжиг (ВТ), °C	–	800	850	900	800	850	900	–	800	850	900

На рис. 1 представлены диаграммы, полученные при помощи программного обеспечения Thermo-Calc Software.

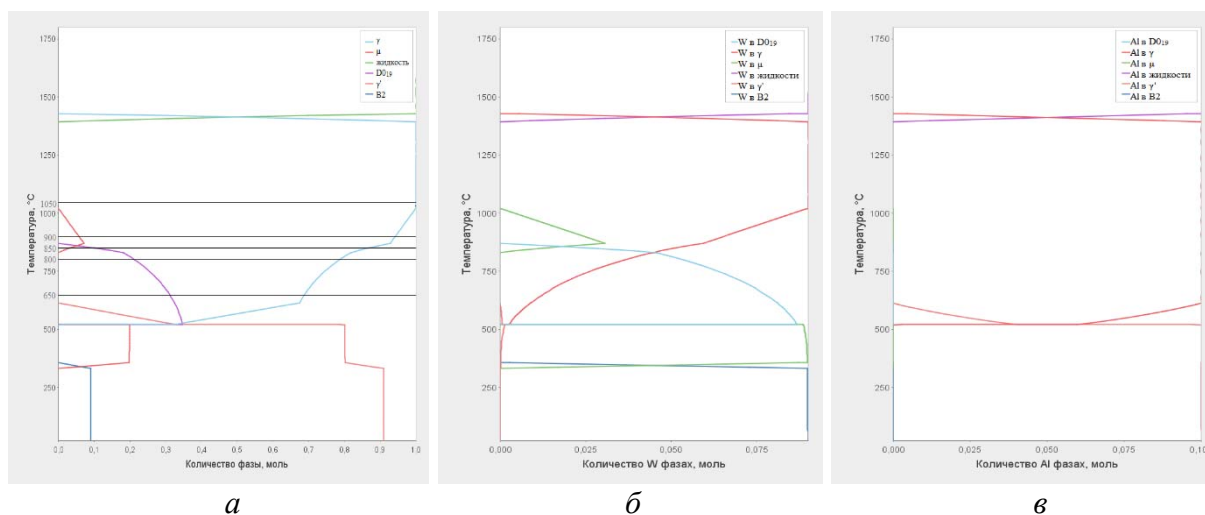


Рис. 1. Политермическое сечение фазовой диаграммы (а); распределение вольфрама в фазах (б); распределение алюминия в фазах (в)

Фазовый состав сплава при исследуемых температурах приведен в табл. 2. Полученные расчетные значения противоречат данным [3], что можно объяснить неполнотой сведений о растворимости элементов в фазах, существующих в системе Co–Al–W, заложенных в используемую

базу SSOL5 программы Thermo-Calc Software при различных температурах.

Таблица 2
Расчетный фазовый состав сплава CO–10AL–9W

Температура, °С	1050	900	850	800	650
Фазовый состав	γ	$\gamma + \mu$	$\gamma + \mu + D0_{19}$	$\gamma + D0_{19}$	$\gamma + D0_{19}$

На рис. 2 приведены фотографии микроструктуры образцов после различных режимов обработки. Микроструктура всех исследуемых образцов содержит характерную сетку, имеющую ориентационную связь с γ -матрицей, предположительно представляющую линии скольжения дислокаций, образованные в процессе извлечения образцов из заливки.

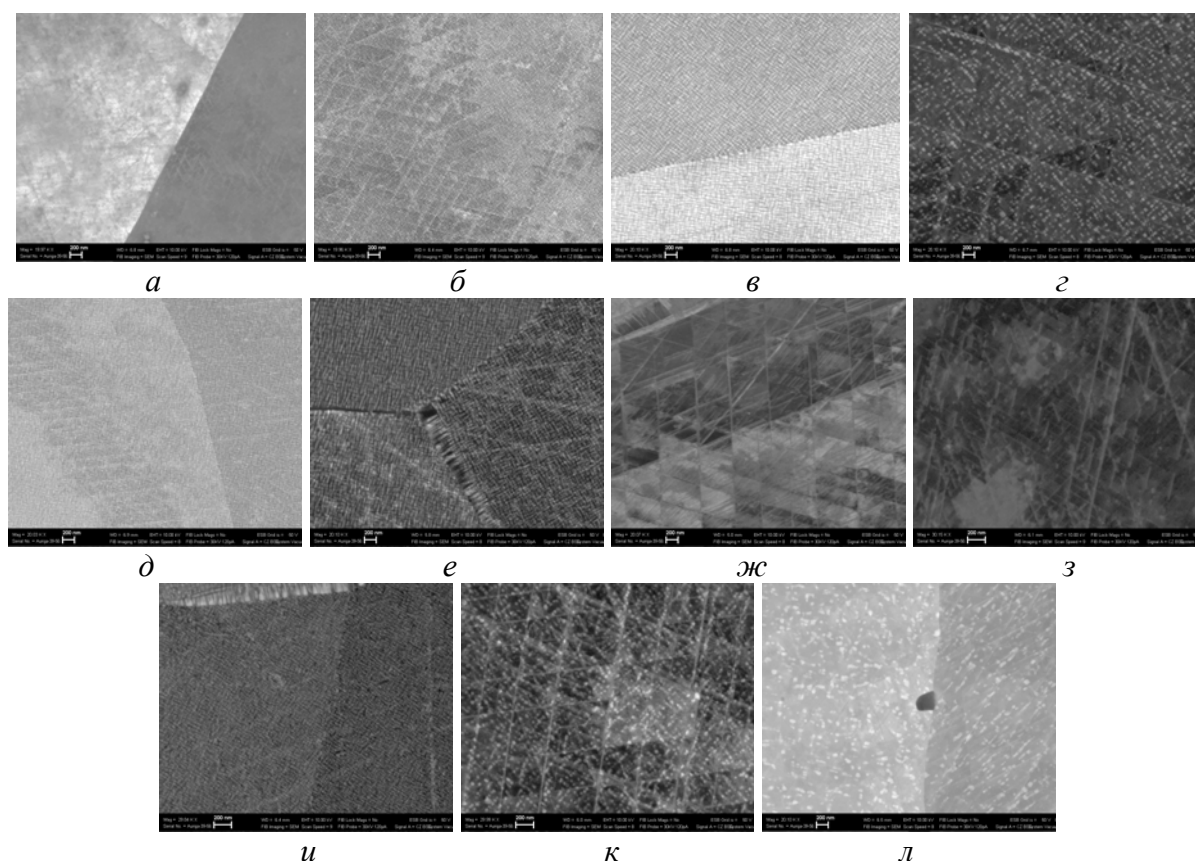


Рис. 2. Микроструктура образцов сплава CO–10AL–9W после различных режимов обработки: а – НТ; б – ВТ (800 °С); в – ВТ(850 °С); г – ВТ(900 °С); д – НТ + ВТ(800 °С); е – НТ + ВТ(850 °С); ж – НТ + ВТ (900 °С); з – ХД + НТ; и – ХД + НТ + ВТ (800 °С); к – ХД + НТ + ВТ (850 °С); л – ХД + НТ + ВТ (900 °С)

На рис. 3 представлено изменение процентного содержания и размера частиц второй фазы в образцах после различных режимов обработки.

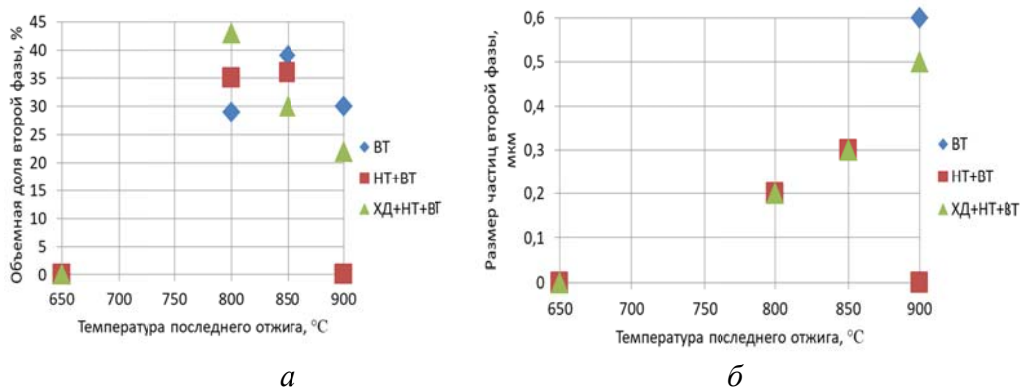


Рис. 3. Графики зависимости объемной доли (а) и размера частиц (б) второй фазы от режима обработки сплава CO–10Al–9W

График, представленный на рис. 3, показывает, что процесс выделения второй фазы происходит интенсивнее в образцах, подверженных предварительному низкотемпературному отжигу, по сравнению с образцами, отожженными однократно. Данное явление можно объяснить тем, что, несмотря на отсутствие идентифицируемых металлографическим методом частиц второй фазы, образцы, отожженные при 650 °C, могут не являться однофазными: процесс выделения второй фазы, начавшийся при первом отжиге, продолжается при высокотемпературном отжиге, что увеличивает долю второй фазы по сравнению с однократным отжигом. Холодная пластическая деформация еще больше интенсифицирует выделение второй фазы вследствие увеличения эффекта наклепа в материале после закалки. Для идентификации частиц второй фазы, обнаруженных металлографическим методом была предпринята попытка определения фазового состава исследуемых образцов методом рентгеноструктурного фазового анализа.

На всех полученных дифрактограммах присутствуют максимумы различной интенсивности вблизи углов 51° и 60°, которые были идентифицированы как рефлексы 111 и 200 γ -фазы. Однако определение фазового состава и периода фаз методом РСФА было затруднено тем, что исследуемое сечение образцов состояло всего из трех зерен и, дифрагирующие плоскости могли не попасть в плоскость поверхности образцов.

Таким образом, в результате работы было установлено, что предварительная холодная пластическая деформация и/или низкотемпературный отжиг образцов при температуре 650 °C в течение 6 часов смещают процесс выделения второй фазы в интервал более низких температур. Максимальная объемная доля второй фазы наблюдается в образце после холодной пластической деформации, первого отжига при 650 °C и второго отжига при 800 °C – 43 %. Предварительная холодная

пластическая деформация сдерживает процесс растворения частиц второй фазы: после второго отжига при 900 °С в недеформированном образце отсутствуют частицы второй фазы; в деформированном образце сохраняется объемная доля частиц второй фазы 22 %.

ЛИТЕРАТУРА

1. Xue F. Phase Equilibria in Co-rich Co–Al–W alloys at 1300 °C and 900 °C / F. Xue, M. Wang, Q. Feng // University of Science and Technology Beijing. 2011. Vol. 686. P. 388–391.
2. Partition behaviour of alloying elements and phase transformation temperatures / T. Omori [et al] // Department of Materials Science, Graduate School of Engineering, Tohoku University. 2011. Vol. 412. P. 274–283.
3. Dmitrieva G. Al–Co–W fusion diagram in the Co–CoAl–W part / G. Dmitrieva, Vol. Vasilenko, I. Melnik // National Academy of Sciences of Ukraine. 2009. Vol. 5. P. 1–5.
4. Казанцева Н. В. Исследование магнитных свойств и структурно-фазовых превращений в сплаве Co–19ат.%Al–6ат.%W / Н. В Казанцева [и др] // ФММ. 2005. Т. 99, № 5. С. 1–10.